

## مقایسه کارایی انواع مالچ سازگار با طبیعت در تثبیت ماسه‌های روان اهواز

فاطمه فرامهر، بیژن خلیلی مقدم<sup>1</sup>، احسان شهبازی و مجید رهنا

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان؛ fatemeh\_faramehr@hotmail.com

دانشیار دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان؛ moghaddam623@yahoo.ie

استادیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه شهرکرد؛ eh\_shahbazi@yahoo.com

استادیار دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان؛ Rahnamam2002@yahoo.com

دریافت: 93/7/26 و پذیرش: 94/7/11

### چکیده

هدف این پژوهش، مقایسه‌ی برخی از انواع تثبیت‌کننده‌های ماسه‌های روان و تعیین مناسب‌ترین مالچ سازگار با طبیعت به روش مطالعات آزمایشگاهی بود. بدین منظور پس از بررسی منابع و انتخاب تیمارهای بهینه برای تثبیت موقت شن‌های روان، برخی از مالچ‌های مناسب تهیه گردید. آزمون چند فاکتوری در قالب طرح کاملاً تصادفی با تیمارهایی شامل نوع مالچ: دو نوع مالچ از فرآورده‌های نیشکر (1 و 2)، دو نوع مالچ رسی (3 و 4)، یک نوع مالچ معدنی (5)، سه نوع مالچ پلیمری (6، 7 و 8) و ضخامت مالچ در دو اندازه مختلف انجام گرفت. پس از اعمال تیمارها، سینی‌های حاوی مالچ‌های مختلف برای مدتی در هوای آزاد خشک شدند و میزان مقاومت برشی، مقاومت فروری و مقاومت برشی لایه رویین خاک به ترتیب به وسیله‌ی پره برشی، فروسنج و دستگاه ژانگ، اندازه‌گیری گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که مالچ 5 (مالچ معدنی) دارای بیش‌ترین مقاومت فروری بوده و به ترتیب 1/16، 1/27، 1/32، 1/28، 1/14، 1/14 و 1/14 برابر نرخ مقاومت فروری مالچ‌های 1، 2، 3، 4، 6، 7 و 8 افزایش نشان داده است. همچنین نتایج نشان داد که در مالچ‌های پلیمری میانگین مقاومت برشی در حالت خشک به ترتیب 1/61، 1/29 و 1/11 برابر میانگین مقاومت برشی در حالت اشباع مالچ‌های پلیمری 6، 7 و 8 بوده‌است که بیش‌ترین اختلاف مربوط به تیمار 6 می‌باشد. مالچ 6 (رزین تثبیت خاک) دارای بیش‌ترین میزان دگرچسبی بوده و به ترتیب 2/41، 7/93، 13/46، 2/35، 3/40 و 2/85 برابر نرخ دگرچسبی مالچ‌های 1، 2، 3، 4، 5 و 7 و 8 افزایش نشان داده است که بیش‌ترین و کم‌ترین اختلاف به ترتیب مربوط به مالچ‌های 1 و 8 می‌باشد. در شرایط آزمایشگاه، مالچ معدنی به دلیل داشتن مقاومت فروری و مقاومت برشی مناسب و پاشش آسان بهترین ترکیب مالچی نسبت به سایر مالچ‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تثبیت‌کننده‌های شن‌های روان، مقاومت برشی، مقاومت فروری

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: خوزستان، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین - خوزستان دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک

## مقدمه

هر ساله شهرها، روستاها، خطوط ارتباطی، تأسیسات و کارخانه‌های مختلف در نتیجه‌ی وزش توفان- های شن و حجم عظیم ریزگرد دچار خسارات زیادی می‌گردند. ضرورت بررسی مشکلات مهار شن‌های روان در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته منجر به پایه‌ریزی برنامه‌هایی به‌صورت خاص جهت احیاء مجدد پوشش گیاهی، حفاظت خاک و تثبیت تپه‌های شنی شده‌است (رفاهی، 1391). در طول نیم قرن گذشته، مواد گوناگونی برای پیداکردن تثبیت‌کننده‌های مناسب جهت کنترل فرسایش بادی مورد ارزیابی قرار گرفته‌است (هاگن، 2010). از حدود چهل سال پیش تاکنون در ایران برای تثبیت موقت ماسه‌های روان از مالچ نفتی استفاده می‌شود. لیکن این نوع مالچ هنگام پاشش با ایجاد دمای بیش‌تر در لایه‌ی رویی خاک موجب کاهش درصد سبز- شدن جوانه‌ها می‌گردد. از طرفی نیز تأثیر منفی روی بافت‌های زنده‌ی گیاه دارد (رضایی، 1388). بررسی انجام‌گرفته در زمینه‌ی امکان استفاده از سرباره‌ی فولاد- سازی به عنوان مالچ، جهت کنترل فرسایش بادی نشان داده است که مالچ سرباره، زبری را افزایش داده و فرسایش بادی را کنترل می‌کند (باباخانی، 1392). مالچ سنگریزه‌ای دارای دو عمل مهم در مهار فرسایش بادی است: اول این‌که می‌تواند خاک را از فرسایش بادی محافظت کند، دوم این‌که می‌تواند ذرات بادآورده را به دام اندازد (یانلی، 2003). مالچ‌های آلی نیز موجب افزایش مقاومت برشی، حفظ رطوبت و افزودن عناصر غذایی به بستر زیرین خود می‌شوند. نتایج تحقیقات (جمشیدصفا، 1392) و (جمیلی، 1392) نشان داد که ضایعات نیشکر (ویناس و فیلترکیک) با افزایش مقاومت فروری و مقاومت برشی می‌توانند در تثبیت شن‌های روان مؤثر باشند. مالچ‌های رسی در برابر باد مقاوم هستند، ولی زمانی‌که در معرض باد و ذرات ریز قرار می‌گیرند، فرسایش می‌یابند.

در تحقیقی، تیمار ترکیبی از 250 گرم شن و 250 گرم خاک رس و 25 گرم کاه بهترین تیمار برای تثبیت ماسه‌ها شناخته‌شده است (مجدی و همکاران، 1385). نتایج بررسی تیمارهای حاصل از ترکیب رس و آهک به ویژه با نسبت 200 گرم رس به همراه 10 گرم آهک نشان‌داد که با افزایش نسبت رس، شاخص‌های مقاومت فشاری، مقاومت به ضربه و سایش به‌طورنسبی افزایش یافت (زارع ارنانی و حضیرئی، 1392). مالچ معدنی به شکل گسترده در کانادا و آمریکا برای کنترل گرد و غبار استفاده می‌شود (گودریچ و همکاران، 2009).

ادواردسون، 2010). امروزه استفاده از مالچ‌های غیر نفتی پلیمری از جمله به‌کارگیری پلیمرهای بر پایه‌ی آکریل امید به دلیل سازگاری با محیط زیست، ایمنی و قیمت ارزان آن‌ها در حال گسترش است (ربیعی و همکاران، 1390). پلی آکریل امید پایداری ساختمان خاک را بهبود- می‌بخشد، همچنین تخلخل و نفوذپذیری را افزایش داده و موجب کاهش فرسایش خاک می‌گردد (گنیس و همکاران، 2012). هی و همکاران (2007) دریافتند کاربرد 2 گرم بر مترمربع پلی آکریل امید برای سطح خاک‌های لوم شنی و لوم، فرسایش بادی را به صورت مؤثر و اقتصادی کنترل می‌کند. کاربرد پلیمر پلی الکترولیت آنیونی با پایه‌ی پلی آکریل امید در یک خاک شنی، باعث افزایش همآوری ذرات و تشکیل پوسته شد و میزان مقاومت فروری 0/6 مگاپاسگال ایجاد نمود (اسماعیلی دستجردی پور، 1390). جعفری (1393) نشان داد که علی‌رغم وجود تنش‌های سخت محیطی حاکم بر شرایط بیابان، رزین استفاده‌شده خوبی توانسته یک سله‌ی مقاوم و چسبنده در برابر بادهای فرساینده‌ی منطقه ایجاد نماید.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، افزودن ماده‌ی پلیمری پلی وینیل استات به میزان 25 گرم در مترمربع در شرایط آزمایشگاهی، با توسعه‌ی ارتباط بین ذرات و تشکیل یک لایه‌ی سطحی بر روی خاک، میزان فرسایش در برابر باد همراه با ذرات را کاهش داده‌است (موحدان و همکاران، 1392). در پژوهشی دیگر، برای تثبیت سطحی ماسه، ماده‌ی به‌دست‌آمده از خمیر کاغذ و پلیمری‌شده با اسید آکرلیک و فرمالدئید استفاده‌شد و مقاومت به خرد- شدگی را افزایش و مقاومت به فرسایش بادی ماسه را بهبودبخشیده‌است (دانگ و همکاران، 2008). مطالعه‌ی فرسایش‌پذیری ترکیبات پلیمری طبیعی (پلاستیک‌های سلولزی غنی‌شده با فیبرهای طبیعی) به روش فرسایش با ضربات ماسه، نشان داد که افزایش زاویه‌ی برخورد، افزایش فرسایش را به همراه داشته‌است (پرادهان و جان، 2009). از آنجایی‌که تاکنون برای ارزیابی تثبیت‌کننده‌های مختلف از شاخص‌ها و روش‌های مختلف در شرایط متفاوت استفاده‌نموده‌اند. بنابراین هدف از این پژوهش، مقایسه‌ی برخی از انواع تثبیت‌کننده‌های ماسه روان و تعیین مناسب‌ترین مالچ سازگار با طبیعت از طریق مطالعات آزمایشگاهی در شرایط یکسان می‌باشد.

## مواد و روش

## آماده‌سازی تیمارها

این آزمایش در سال 93-1392 با هدف ارزیابی آزمایشگاهی مالچ‌های مختلف سازگار با طبیعت جهت تثبیت ماسه‌های روان اهواز انجام شد. در این پژوهش

آب است. که نشان می‌دهد این مالچ بسیار جذاب رطوبت است و با جذب رطوبت هوا چسبندگی ذرات خاک را افزایش می‌دهد. مالچ پلیمری حاوی رزین تثبیت کننده خاک دارای پ-هاش 9-8، لزوجت 300-250 پویز (در دمای 25 درجه سانتیگراد)، حالت فیزیکی مایع، وزن مخصوص 1/22-1/24 کیلوگرم در لیتر و 1-0/5 درصد ترکیبات فرار است. پلی آکریل آمید آبیونی دارای بار منفی است و بر حسب چگالی بار و قدرت اسیدی گروه‌های عاملی به کار رفته در ساختار آن، به نوع قوی و ضعیف با چگالی بار زیاد یا کم دسته‌بندی می‌شوند. پلی آکریل آمید به کار رفته از نوع پلیمر سفید رنگ با دانه‌های پودری، جرم مخصوص 1/11 گرم بر میلی لیتر (در دمای 25 درجه سانتیگراد)، متوسط جرم مولکولی 1500 و پ-هاش 4-6 است. رزین پلی وینیل استات یک ماده ی پلیمری است که از پلیمریزاسیون رادیکال های آزاد وینیل با منشاء مونومر وینیل استات به دست می‌آید. این ماده در تجارت و صنعت با نام اختصاری PVAC شناخته می‌شود. این پلیمر سفید رنگ با دانه‌های پودری، اندازه ذرات 3-0/1 میکرون، چگالی 1/19 گرم بر سانتی مکعب (در دمای 25 درجه سانتیگراد) و دمای تجزیه 150 درجه سانتیگراد است.

پس از انتخاب نمونه‌های ماسه بادی از تپه‌های ماسه‌ای اهواز (منطقه‌ی حمیدیه) به عنوان بستر آزمایش (جدول 1)، مواد مورد نیاز برای تهیه‌ی مالچ‌های سازگار با طبیعت تهیه گردید. سپس نمونه خاک تپه‌های ماسه‌ای در سینی‌ها یی به ابعاد تقریبی 105×43×5 سانتی‌متر ریخته شد. در ادامه برخی مالچ‌های بهینه، توصیه‌شده توسط پژوهشگران تهیه گردید (جدول 2) و روی بستر ماسه های روان پاشیده‌شد. به منظور خشک‌شدن کامل مالچ ها، سینی‌های آماده شده به مدت چند روز در هوای آزاد و نور خورشید قرار داده‌شد، به طوری که مقدار رطوبت خاک سینی‌ها به کم‌تر از یک درصد مشابه وضعیت طبیعی تپه‌های ماسه‌ای رسید.

مالچ معدنی از تبخیر شورابه های کویر مرکزی ایران حاصل می گردد، که برای حذف نمک از محلول، شورابه مورد نظر به استخرهای تبخیر خورشیدی پمپاژ گردیده و در آن جا دانسیته ی شورابه افزایش یافته است. شورابه ی حاصل محلولی غنی از کلرید کلسیم و منیزیم است که شفاف و بسیار غلیظ با دانسیته ی 1/45 می‌باشد که این دانسیته در فصل تابستان به 1/57 گرم بر سانتی مترمکعب می‌رسد. این مالچ به ترتیب حاوی 31، 14، 3، 53 درصد، کلرید کلسیم، کلرید منیزیم، نترات کلسیم و

جدول 1- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ماسه بادی و خاک رس مورد آزمایش

نمونه	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	هدایت الکتریکی (dSm <sup>-1</sup> )	pH	آهک (درصد)	نسبت جذب سدیم	ازت (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌اکی والان بر لیتر)	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی گرم بر کیلوگرم)	مس (میلی گرم بر کیلوگرم)
خاک رس	41	29	30	24/5	8/07	-	22/37	0	7/04	0/51	4/07	2/74	0/65
ماسه بادی	1/5	2/5	96	2	7/1	3/96	-	-	-	-	-	-	-

جدول 2- ترکیب مالچ‌های (نیمار) انتخابی

شماره‌ی مالچ	نوع مالچ	ترکیب مالچ (سطح مورد پاشش 105×43 سانتی متر)
1	مالچ نیشکری	250 گرم ویناس + 500 میلی لیتر آب
2	مالچ نیشکری	150 گرم فیلترکیک + 50 گرم رس + 300 میلی لیتر آب
3	مالچ رسی	250 گرم خاک رس + 25 گرم کاه + 500 میلی لیتر آب
4	مالچ رسی آهکی	200 گرم خاک رس + 10 گرم آهک + 1000 میلی لیتر آب
5	مالچ معدنی	2500 گرم نمک + 1000 میلی لیتر آب
6	مالچ پلیمری	500 میلی لیتر محلول رزین تثبیت کننده
7	مالچ پلیمری	2 گرم پلی آکریل آمید + 1000 میلی لیتر آب
8	مالچ پلیمری	25 گرم پلی وینیل استات + 1000 میلی لیتر آب

## ویژگی‌های مکانیکی مالچ‌ها

یکی از روش‌های تجربی به منظور اندازه‌گیری مقاومت خاک و یا مقاومت مکانیکی ظاهری خاک، اندازه‌گیری مقاومت فروروی خاک است (هریک و جونز، 2002). مقاومت فروروی مالچ‌ها با استفاده از فروسنج دستی مدل ایجکل کمپ اندازه‌گیری گردید. در این پژوهش، برای اندازه‌گیری مقاومت برشی مالچ از پرهی برشی در شرایط اشباع و خشک استفاده شد (خلیلی مقدم و همکاران، 1390). برای اندازه‌گیری مقاومت برشی لایه-ی روئین خاک در شرایط مختلف رطوبتی از دستگاه مقاومت برشی لایه‌ی روئین خاک (مدل ژانگ) استفاده گردید. با این دستگاه می‌توان ضرایب دگرچسبی ( $C_a$ ) و زاویه‌ی بین کاغذ سمباده و خاک ( $\Phi$ ) را اندازه‌گیری نمود. این آزمایش باید حداقل دو بار انجام‌پذیرد تا بتوان با استفاده از قانون موهر-کلمب (معادله 1) مقدار پارامترهای  $C_a$  و  $\Phi$  را بدست آورد.

$$\tau = C_a + \sigma n \tan \phi \quad (1)$$

که در آن،  $\tau$ : مقاومت برشی مالچ (برحسب هکتو پاسکال)،  $C_a$ : نیروی دگرچسبی بین مالچ و پوشش سمباده‌ای (برحسب هکتو پاسکال)،  $\sigma_n$ : تنش نرمال بر

سطح مالچ (بر حسب هکتو پاسکال)،  $\Phi$ : زاویه بین کاغذ سمباده و مالچ.

## تجزیه و تحلیل آماری

با توجه به روش کار، طرح آماری مناسب به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل 8 نوع مالچ در دو ضخامت مختلف (2 و 4 میلی متر) هر کدام در سه تکرار در نظر گرفته شد. از آزمون مقایسه میانگین به روش حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح 5% استفاده گردید. محاسبات آماری نتایج به‌وسیله‌ی نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها به‌وسیله‌ی برنامه‌ی Excel نسخه‌ی 2010 صورت گرفت.

## نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول 3 نشان می‌دهد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین میزان مقاومت فروروی (مقاومت در برابر نفوذ)، مقاومت برشی در حالت اشباع، مقاومت برشی در حالت خشک، دگرچسبی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی مالچ‌های مختلف وجود دارد. همچنین اثر متقابل مالچ و ضخامت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر نوع مالچ و ضخامت مالچ بر ویژگی‌های مکانیکی مالچ‌ها

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			ضریب تغییرات (درصد)
		مقاومت برشی (در حالت اشباع)	مقاومت برشی (در حالت خشک)	مقاومت فروروی	
مالچ	7	673/92**	2120/68**	2009047/62**	795/09**
ضخامت	1	2749/09**	3615/84**	9363333/33**	13/16 <sup>ns</sup>
مالچ*ضخامت	7	185/47**	181/70**	546190/48**	349/509**
خطا		18/13	18/43	41458/33	5/26
		8/70	8/91	3/51	5/07

\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد؛ \* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد؛ ns: اختلاف غیر معنی‌دار

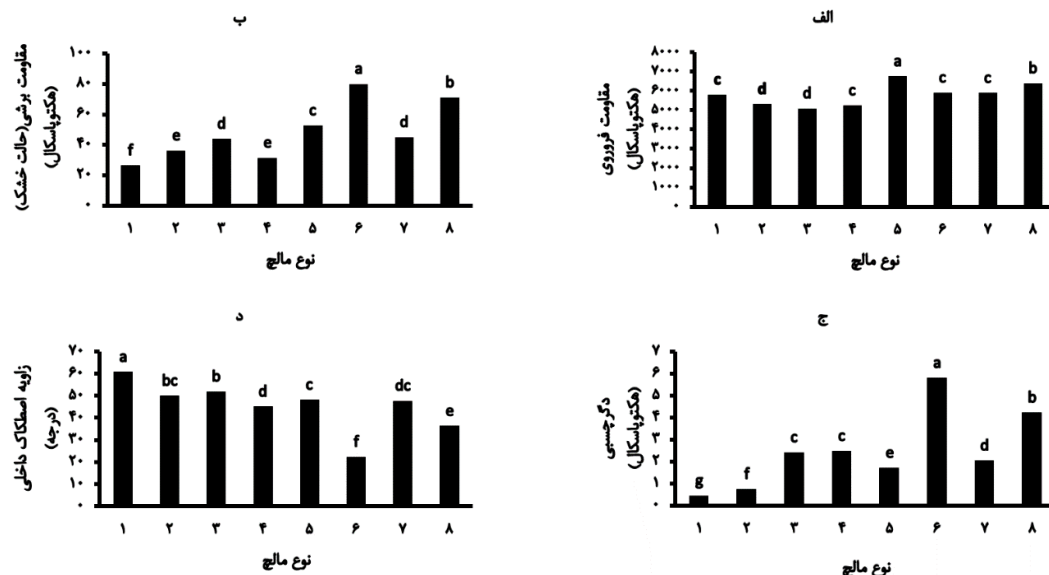
به ترتیب تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها دارند. تأثیر نوع مالچ بر میزان مقاومت برشی مالچ‌ها در حالت خشک در شکل 1 (ب) نشان داده شده است. با توجه به شکل 1 (ب) میزان مقاومت برشی در حالت خشک مالچ‌های مختلف به این ترتیب می‌باشد:  $1 > 4 > 2 > 7 > 3 > 5 > 6 > 8$  که در آن مالچ‌های 6 و 1 به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقاومت برشی در حالت خشک می‌باشند. مقایسه‌ی میانگین مقاومت برشی در حالت اشباع و خشک

بررسی مقاومت فروروی، مقاومت برشی در دو حالت اشباع و خشک، دگرچسبی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی مالچ‌ها

شکل 1 (الف) میزان مقاومت فروروی مالچ‌های 1 تا 8 را نشان می‌دهد. میزان مقاومت فروروی مالچ‌های مختلف به این ترتیب می‌باشد:  $4 > 2 > 7 > 6 > 1 > 8 > 5$  که در آن مالچ شماره 5 با ترکیب نمک کلرید کلسیم و منیزیم و مالچ شماره 8 با ترکیب پلیمر پلی وینیل استات

ترتیب نشان‌دهنده‌ی اثر نوع مالچ بر میزان دگرچسبی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی مالچ‌های 1 تا 8 می‌باشد که با توجه به شکل 1 (ج) دگرچسبی مالچ‌های 6 و 8 به ترتیب اختلاف معنی‌داری با سایر مالچ‌ها دارند و رزین تثبیت خاک (شماره 6) دارای بیش‌ترین میزان دگرچسبی (5/79 هکتوپاسکال) بوده‌است. شکل 1 (ج) نشان‌می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین دگرچسبی مالچ‌های 3 و 4 وجود ندارد. با توجه به شکل 3 (د) اختلاف معنی‌داری بین زاویه‌ی اصطکاک داخلی مالچ ویناسی (شماره 1) با همه‌ی مالچ‌ها وجود دارد. مالچ‌های 1 و 6 به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین زاویه‌ی اصطکاک داخلی می‌باشند.

نشان می‌دهد که در مالچ‌های پلیمری میانگین مقاومت برشی در حالت خشک به ترتیب 1/61، 1/29 و 1/11 برابر میانگین مقاومت برشی در حالت اشباع مالچ‌های پلیمری 6، 7 و 8 بوده‌است که بیشترین اختلاف مربوط به تیمار 6 می‌باشد. میانگین مقاومت برشی در حالت اشباع مالچ‌های شماره 8، 5 و 3 به ترتیب تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها دارند. مالچ پلیمری با پایه‌ی پلی وینیل استات (شماره 8) دارای بیش‌ترین میزان مقاومت برشی در حالت اشباع (63/758 هکتوپاسکال) بوده‌است. ولی اختلاف معنی‌داری بین مقاومت برشی در حالت اشباع مالچ‌های 8 و 5 وجود ندارد. شکل 1 (ج و د) به



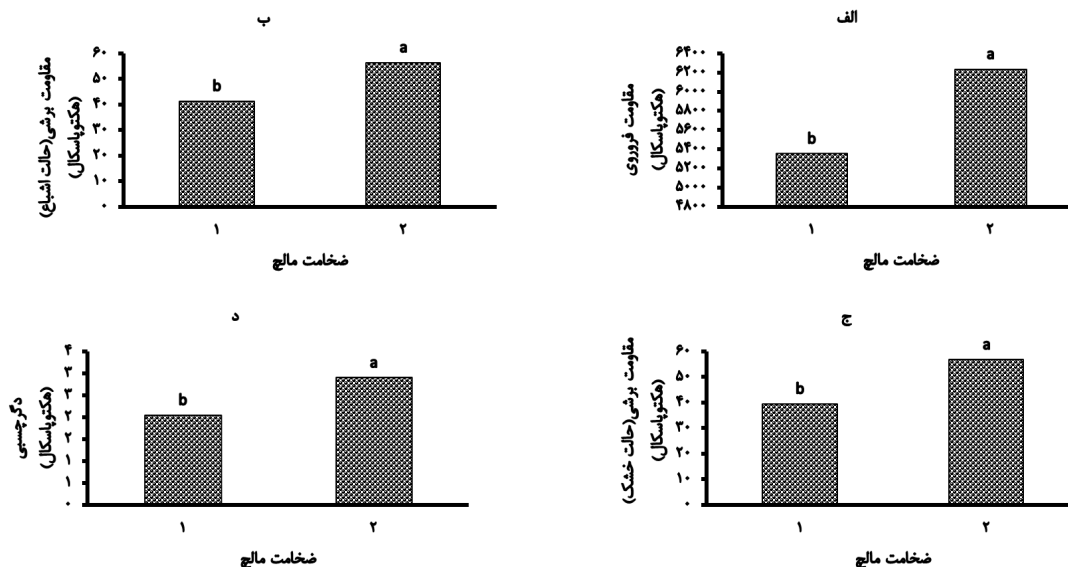
شکل 1- مقایسه میانگین اثر متقابل انواع مالچ × سطوح ضخامت برای نرخ مقاومت فروری (الف)، مقاومت برشی در حالت خشک (ب)، دگرچسبی (ج) و زاویه‌ی اصطکاک داخلی (د) با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد

تأثیری ندارد. با توجه به شکل 2 (الف) میزان مقاومت فروری در ضخامت‌های مختلف؛ اختلاف معنی‌داری دارند و میزان مقاومت فروری در ضخامت 4 میلی متر 1/16 برابر بر ضخامت 2 میلی متر است. همچنین با توجه به شکل 2 (ب و ج) به ترتیب مقاومت برشی در حالت اشباع در ضخامت 4 میلی متر 1/36 برابر ضخامت 2 میلی متر و مقاومت برشی در حالت خشک در ضخامت 4 میلی متر 1/43 برابر ضخامت 2 میلی متر است. شکل 2 (د) نیز نشان می‌دهد که میزان نیروی دگرچسبی در ضخامت

بررسی اثر ضخامت (میزان مالچ در واحد سطح) بر مقاومت فروری، مقاومت برشی در دو حالت اشباع و خشک، دگرچسبی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی مالچ‌ها تأثیر ضخامت مالچ (مقدار پاشش در واحد سطح) بر میزان مقاومت فروری، مقاومت برشی در دو حالت اشباع و خشک، دگرچسبی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی مالچ‌ها به ترتیب در شکل 2 (الف، ب، ج و د) نشان داده شده‌است که همانند نوع مالچ؛ ضخامت لایه مالچ هم تأثیر معنی‌داری بر میزان مقاومت فروری، مقاومت برشی در دو حالت اشباع و خشک و دگرچسبی مالچ‌ها دارد اما بر میزان زاویه‌ی اصطکاک داخلی مالچ‌ها

مقاومت آن افزایش و سطح آسیب‌پذیر نسبت به عوامل فرساینده و کم‌تر تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

4 میلی متر  $1/42$  برابر ضخامت 2 میلی متر است. این نتایج مبین آن است که عملاً با افزایش ضخامت مالچ،



شکل 2- مقایسه میانگین‌های سطوح مختلف ضخامت برای نرخ مقاومت فروری (الف)، مقاومت برشی در حالت اشباع (ب)، مقاومت برشی در حالت خشک (ج) و دگرچسبی (د) با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد

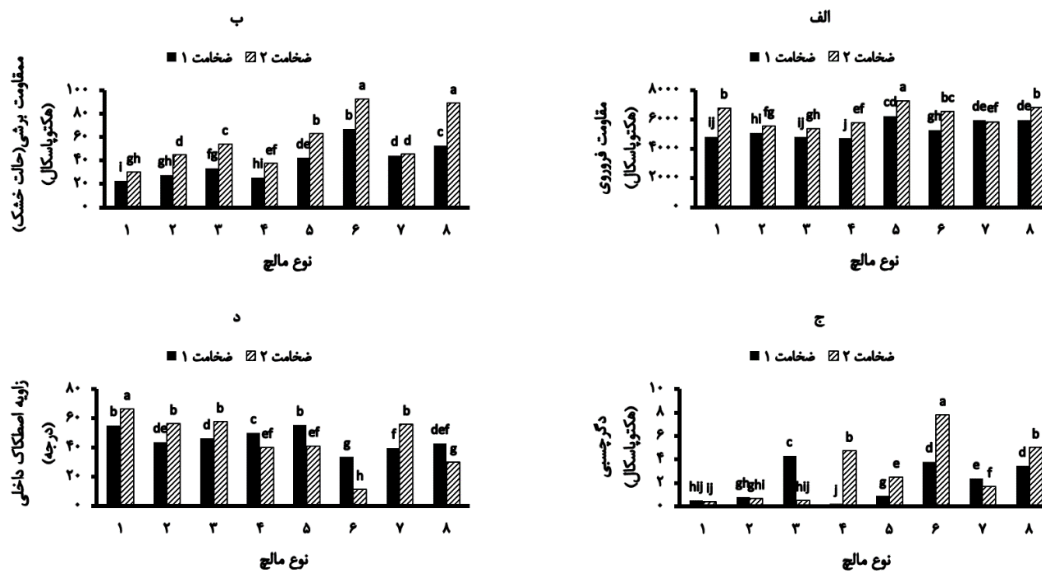
بررسی اثر متقابل مالچ و ضخامت بر مقاومت فروری، مقاومت برشی در دو حالت اشباع و خشک، دگرچسبی و زاویه اصطکاک داخلی مالچ‌ها

شکل 3 نشان‌دهنده اثرات متقابل انواع مالچ و سطوح ضخامت بر میزان مقاومت فروری، مقاومت برشی در دو حالت اشباع و خشک، دگرچسبی و زاویه اصطکاک داخلی مالچ‌ها می‌باشد که با توجه به شکل 3 (الف) در همه‌ی مالچ‌ها به جز مالچ پلیمری با پایه‌ی پلی آکریل آمید (شماره 7) با افزایش ضخامت مالچ‌پاشی مقاومت فروری افزایش معنی‌داری داشته‌است. به طوری که با افزایش تعداد پاشش از یک مرتبه به دو مرتبه به ترتیب  $1/4$ ،  $1/09$ ،  $1/11$ ،  $1/16$ ،  $1/24$ ،  $0/98$  و  $1/13$  برابر نرخ مقاومت فروری مالچ‌های 1، 2، 3، 4، 5، 6 و 8 افزایش نشان داده است که بیش‌ترین و کم‌ترین اختلاف به ترتیب مربوط به مالچ‌های شماره 1 و 6 می‌باشد. شکل 3 (الف) نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری در مالچ با ضخامت بیشتر بین مقاومت فروری مالچ‌های 1، 6 و 8 با تیمار 5 وجود دارد. ولی مقاومت فروری مالچ معدنی (شماره 5) با همه‌ی مالچ‌ها (ضخامت بیشتر) اختلاف معنی‌داری دارد و دارای بیش‌ترین میزان مقاومت فروری ( $7266/7$  هکتوپاسکال) بوده‌است. اختلاف معنی‌داری بین مقاومت برشی در حالت اشباع بین مالچ با لایه ضخیمتر و

کمتر برای همه‌ی مالچ‌ها، به جز مالچ رسی‌آهکی (شماره 4) وجود دارد. به طوری که میزان مقاومت برشی در حالت اشباع برای لایه ضخیم تر نسبت به ضخامت کمتر برای مالچ‌های 1، 2، 3، 5، 6، 7 و 8 به ترتیب  $1/3$ ،  $1/16$ ،  $1/24$ ،  $1/۷۲/24$ ،  $1/37$  و  $1/82$  برابر می‌باشد که بیش‌ترین و کم‌ترین اختلاف به ترتیب مربوط به مالچ‌های شماره 8 و 2 می‌باشد. همچنین اختلاف معنی‌داری در مالچ با ضخامت بیشتر بین مقاومت برشی در حالت اشباع مالچ‌های 3، 5 و 6 با تیمار 8 وجود دارد. ولی مقاومت مالچ شماره 8 اختلاف معنی‌داری با همه‌ی مالچ‌ها (ضخامت بیشتر) دارد و دارای بیش‌ترین میزان مقاومت برشی در حالت اشباع ( $82/339$  هکتوپاسکال) بوده‌است. با توجه به شکل 3 (ب) در همه‌ی مالچ‌ها به جز مالچ پلیمری (شماره 7) با افزایش تعداد دفعات مالچ‌پاشی مقاومت برشی در حالت خشک افزایش معنی‌داری داشته‌است. به طوری که با افزایش تعداد پاشش از یک مرتبه به دو مرتبه به ترتیب  $1/32$ ،  $1/61$ ،  $1/60$ ،  $1/45$ ،  $1/48$ ،  $1/38$  و  $1/68$  برابر نرخ مقاومت برشی در حالت خشک مالچ‌های 1، 2، 3، 4، 5، 6 و 8 افزایش نشان می‌دهد که بیش‌

شماره 8 و 1 می‌باشد.

ترین و کم‌ترین اختلاف به ترتیب مربوط به مالچ‌های



شکل 3- مقایسه میانگین اثر متقابل انواع مالچ × سطوح ضخامت برای نرخ مقاومت فروری (الف)، مقاومت برشی در حالت خشک (ب)، دگرچسبی (ج) و زاویه‌ی اصطکاک داخلی (د) با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد

دارای بیش‌ترین میزان دگرچسبی (7/781 هکتوپاسکال) بوده‌است. با توجه به شکل 3 (د) اختلاف معنی‌داری نیز بین زاویه‌ی اصطکاک داخلی مالچ با ضخامت کمتر با مالچ با ضخامت بیشتر برای همه‌ی مالچ‌ها وجود دارد. به طوری‌که با افزایش تعداد پاشش زاویه‌ی بین کاغذ سمباده و ضخامت‌ی روین مالچ‌ها برای تیمارهای 1، 2، 3 و 7 افزایش و برای سایر مالچ‌ها کاهش معنی‌داری داشته‌است. همچنین شکل 3 (د) نشان می‌دهد که زاویه‌ی اصطکاک داخلی مالچ ویناسی (شماره 1) با همه‌ی مالچ‌ها (ضخامت بیشتر) اختلاف معنی‌داری دارد و دارای بیش‌ترین میزان زاویه‌ی اصطکاک داخلی (66/313 درجه) بوده‌است.

### بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی نوع و ترکیب مالچ مهم‌ترین عاملی است که می‌تواند تعیین‌کننده‌ی مقاومت مالچ در مقابل فرسایش بادی و در نتیجه انتخاب بهترین مالچ باشد. مالچ معدنی 5 به دلیل داشتن نمک‌های محلول با غلظت زیاد، در ماسه نفوذ کرده و مقاومت فروری را افزایش داد و طبق گفته‌ی چارمن و مورفی (2000) کاتیون کلسیم نقش مؤثری در به‌هم‌آوری کلوئیدهای خاک و کاهش فرسایش‌پذیری دارد. هرچند وجود نمک‌های با غلظت-های نسبتاً کم در ماسه، سرعت آستانه‌ی سیال را در ماسه‌ی خشک به مقدار قابل توجهی بالا می‌برد. زیرا در نقاط تماس ذرات به‌صورت سیمانی عمل می‌کند

شکل 3 (ب) نشان می‌دهد که اختلاف معنی-داری در مالچ با ضخامت بیشتر بین مقاومت برشی در حالت خشک مالچ‌های 6 و 8 وجود ندارد ولی اختلاف معنی‌داری در ضخامت بیشتر بین مقاومت برشی مالچ‌های 6 و 8 با همه‌ی مالچ‌ها وجود دارد. مالچ‌های 6 و 8 دارای بیش‌ترین مقاومت برشی در حالت خشک به ضخامت 4 میلی‌متر به ترتیب 92/541 و 88/897 هکتوپاسکال می‌باشند. اثر متقابل نوع مالچ و ضخامت بر نیروی دگر-چسبی بین مالچ و پوشش سمباده‌ای شکل 3 (ج) نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین نیروی دگرچسبی مالچ با ضخامت کمتر و مالچ با ضخامت بیشتر، برای همه مالچ‌ها، به جز مالچ‌های نیشکری (شماره 1 و 2) وجود دارد. با توجه به شکل 3 (ج) با افزایش تعداد دفعات مالچ‌پاشی، دگرچسبی برای مالچ‌های 4، 5، 6 و 8 افزایش و برای تیمارهای 3 و 7 کاهش معنی‌داری داشته‌است. به طوری‌که میزان دگرچسبی مالچ با ضخامت بیشتر نسبت به ضخامت کمتر برای مالچ‌های 4، 5، 6 و 8 به ترتیب 22/42، 2/04، 2/77 و 1/45 برابر می‌باشد که بیش‌ترین اختلاف مربوط به مالچ 4 (مالچ رسی-آهکی) می‌باشد. شکل 3 (ج) نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری در ضخامت بیشتر بین دگرچسبی مالچ‌های 4 و 8 با تیمار 6 وجود دارد. ولی دگرچسبی رزین تثبیت خاک (شماره 6) با همه‌ی مالچ‌ها (ضخامت بیشتر) اختلاف معنی‌داری دارد و

پلیمر 8 مقاومت بیشتری نسبت به سایر مالچ‌ها از خود نشان داده است. نتایج فوق حاکی از کنترل فرسایش توسط پلیمر 8 در خاک است و مسلماً میزان گرد و غبار تولید شده در تیمارهای پلیمری در حالت اشباع می‌تواند بسیار ناچیز و بسیار کم‌تر از سایر تیمارها باشد که با بررسی موحدان و همکاران (1392) سازگاری داشت. ضخامت سطحی در ماسه بادی تیمار شده با پلیمر 6، یک سطح به هم پیوسته و کاملاً مقاوم است. در واقع پس از خشک شدن ماسه بادی پلیمری، یک سطح کاملاً صاف بر روی خاک تشکیل می‌شود که به راحتی دچار گسیختگی نمی‌شود. نتایج ما همچنین نشان داد که در هر سه نوع مالچ پلیمری میانگین مقاومت برشی در حالت خشک بیش‌تر از این مقادیر در حالت اشباع بوده است و رزین تثبیت خاک (6) افزایش بیشتری از خود نشان داده است. مکانیسم کنترل فرسایش و گرد و غبار توسط پلیمرها در حقیقت به صورت افزایش پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک و اتصال خاکدانه‌های خاک سطحی از طریق تشکیل یک ضخامت سطحی است که به دلیل اتصال مناسب به یکدیگر و بزرگ شدن، در برابر فرسایش بادی مقاوم و از تولید گرد و غبار جلوگیری می‌نماید. گزارش شده است که مقاومت خاک بویژه در خاک‌های ماسه‌ای اغلب بوسیله‌ی جرم مخصوص ظاهری (هورن و بامگارتل، 2002) و مقدار آب (دکستر، 1988) تخمین زده می‌شود.

مقاومت خاک با کاهش وزن مخصوص ظاهری و افزایش مقدار آب، کاهش می‌یابد (هورن و همکاران، 1995). در حالی که نتایج ووج سیگا (2009) نشان داد که کاهش مقدار آب باعث افزایش مقاومت برشی خاک تا یک مقدار اوج می‌شود و پس از این مقدار دوباره کاهش می‌یابد. به گفته‌ی هورن و بامگارتل (1999) از لحاظ تئوریک مقاومت برشی خاک باید با افزایش چگالی ظاهری به دلیل تعداد بیشتر نقاط تماس بین ذرات منفرد افزایش یابد. در تحقیق حاضر همچنین تأثیر نوع و ترکیب مالچ بر زبری مورد مطالعه قرار گرفت. چون زبری بستر بیانگر پتانسیل حفظ، انتشار و جنبش ذرات خاک است. همچنین می‌تواند برای پیش‌بینی فرسایش بادی مورد استفاده قرار گیرد (هاگن، 1988). زبری سطح خاک سرعت باد را در نزدیکی سطح زمین کاهش داده و در نتیجه میزان فرسایش را محدود می‌سازد (دانگ و همکاران، 2002 و ژانگ و همکاران، 2004). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که نوع مالچ تأثیر معنی‌داری بر میزان دگرچسبی ( $C_a$ ) و زاویه‌ی اصطکاک داخلی ( $\Phi$ ) مالچ‌ها دارد به دلیل این‌که دستگاه ژانگ به پارامترهای مقاومت برشی خاک ( $C_a$  و  $\Phi$ )، به ویژه در محدوده‌ی

(نیکلینگ، 1984). مقاومت فروری مالچ 8 پس از مالچ معدنی اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها دارد. این پلیمر به علت چسبندگی که دارد می‌تواند مانع از حرکت ماسه-های روان در اثر وزش طوفان شود. از طرف دیگر، به گفته‌ی نادری و همکاران (1390) به علت این‌که با خاک واکنش شیمیایی نمی‌دهد، این قابلیت را دارد که گیاه درون خاک تثبیت شده در آن رشد کند. گراو (1992) نیز مشاهده کرد که در خاک‌های ماسه‌ای و گراولی در مناطقی با متوسط رطوبت نسبی 30 درصد، شورا به‌های کلرید کلسیم و کلرید منیزیم مؤثرتر از امولسیون پلیمری پلی وینیل استات بود. اما تحقیقات در زمینه‌ی سمیت مالچ معدنی بسیار محدود است. از جمله ادواردسون (2010) سمیت کلریدها را اندازه‌گیری نمود و دریافت که اگر کلریدها در اندازه‌ی معمول به‌کار گرفته شوند، تهدیدی برای محیط زیست محسوب نخواهند شد. مالچ‌های 2، 3 و 4 به ترتیب با ترکیب رس و فیلترکیک، رس و کاه و نیز رس و آهک شرایط یکسانی از نظر ایجاد سله یا ضخامت سطحی و مقاومت فروری در سطح تپه‌های ماسه‌ای ایجاد نمودند. در این ارتباط می‌توان از مالچ‌های ترکیبی رسی به عنوان یک پوشش و همچنین یک ماده‌ی سیمانی به منظور چسباندن ذرات بستر و ایجاد یک بستر مناسب برای تثبیت بیولوژیکی استفاده کرد.

فونتنز و همکاران (2004) بیان کردند که فشردگی خاک اثر منفی بر خصوصیات گیاه دارد و بر نفوذپذیری آب و زهکشی اثر دارد. همچنین گزارش شده است گسترش و نفوذ ریشه در بیش‌تر گیاهان هنگامی که مقاومت فروری 0/7 تا 1/5 مگاپاسکال باشد، 50 درصد کاهش می‌یابد و هنگامی که به 4 مگاپاسکال می‌رسد به طور کامل متوقف می‌شود (کیرک گارد، 1990 و تیلر و همکاران، 1966). چون در این مالچ‌ها مقاومت فروری بیش‌تر از 2 مگاپاسکال نبود، لذا این مالچ‌ها دارای شرایط فیزیکی خوبی می‌باشند. درحالی‌که از نقطه نظر مدیریت خاک، هرچه مقاومت فروری خاک زیاد باشد آن خاک دارای شرایط نامناسبی برای جوانه‌زنی، رشد ریشه‌ی گیاه و شخم‌ورزی می‌باشد (امامی و همکاران، 1388). با توجه به بررسی منابع انجام گرفته در تحقیق حاضر، به علت مطالعات اندک در زمینه‌ی اثر مالچ معدنی بر کنترل فرسایش بادی خصوصاً در کشور ایران مقایسه‌ی دقیق نتایج حاصله از این قسمت میسر نشد. اثر نوع و ترکیب مالچ بر مقاومت برشی مالچ‌ها نیز معنی‌دار بود. مالچ‌های پلیمری 8 و 6 به ترتیب دارای بیش‌ترین میزان مقاومت برشی در حالت اشباع و خشک در ضخامت بیشتر بوده است. ضخامت تشکیل شده در سطح خاک تیمار شده با



بیش‌تر مورد مطالعه قرار گیرد. سمپادهی نامناسب ممکن است باعث لغزش برش بر روی نمونه‌ی خاک شود و ممکن است منجر به کم‌شدن تنش برشی لغزشی نسبت به تنش اوج (مقاومت برشی مالچ) شود. ایتیمزین و همکاران (2014) به این نتیجه رسیدند که اندازه‌گیری‌های مستقیم تنش برشی و روش‌های استفاده‌شده برای تخمین تنش برشی نیز می‌تواند در زمینه‌های گسترده‌تر برآورد طول زبری آئرویدینامیکی مورد استفاده قرار گیرد. مقدار مالچ لازم در واحد سطح بر اساس عواملی از قبیل خصوصیات زمین، میزان بارندگی، جهت و سرعت باد، نحوه‌ی اجرای پروژه و غیره مشخص می‌شود (رفاهی، 1391). یاماناکا و همکاران (2004) نشان دادند که مقاومت ضخامت‌ی مالچ به فرسایش بادی با ضخامت لایه مالچ به صورت نمایی افزایش می‌یابد. در مجموع می‌توان گفت، تیمار با ضخامت کم (یک مرتبه مالچ‌پاشی) منجر به فرسایش بیش‌تری خواهد شد که با مطالعات مجددی و همکاران (1385) سازگاری داشت. در حالی که صفایی قهنویه و همکاران (1391) بیان نمودند که اختلاف معنی‌داری بین تعداد ضخامت‌ها در سطح احتمال 5 درصد وجود ندارد و در مجموع تیمار بالای ضخیم تر به مقدار ناچیزی نسبت به تیمار با ضخامت کمتر در کاهش فرسایش بادی مؤثرتر می‌باشد.

به طور کلی در این تحقیق مالچ معدنی به دلیل داشتن مقاومت فروری و مقاومت برشی مناسب و پاشش آسان، بهترین ترکیب مالچی نسبت به دیگر مالچ‌های تولید شده تشخیص داده شد، که می‌توان از آن برای استفاده در تثبیت ماسه‌های روان کمک گرفت. از آن‌جا که مواد به کار برده شده در این تحقیق از نوع مواد طبیعی، نمک کلرید کلسیم و منیزیم است و از سوی دیگر، منابع آن به وفور قابل دسترس است، این نوع مالچ طبیعی نسبت به مالچ‌های دیگر از مزیت‌های زیست محیطی و اقتصادی و سهولت استفاده برخوردار است. مالچ نیشکری ویناسی (مالچ شماره 1) حاوی نمک‌های محلول می‌باشد و براحتی در آب حل می‌گردد و رفتاری شبیه مالچ شماره 5 ایجاد می‌نماید. بنابراین در غلظت‌های بیش‌تر از غلظت مورد استفاده در این پژوهش، قدرت تثبیت‌کنندگی آن را افزایش می‌دهد. پیشنهاد می‌شود به منظور بهینه‌نمودن شرایط اجرایی، آزمایش‌های بیش‌تر در مقیاس صحرایی نیز انجام گردد و میزان مواد مورد استفاده در شرایط طبیعی با لحاظ نمودن پارامترهای مهم نظیر پلاستیسیته، سمیت، دما، رطوبت، جهت و میزان سرعت باد تعیین گردد. همچنین اثرات زیست محیطی کاربرد این مالچ‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

مقادیر کم تنش نرمال ( $\sigma_n$ )، حساس است که با مطالعات ووج سیگا و همکاران (2009) مطابقت داشت. بدین معنی که مقاومت برشی مالچ ( $\tau$  یا تنش برشی) به عنوان تابعی از پتانسیل رطوبتی، تحت تنش‌های نرمال ( $\sigma_n$ ) یا تنش قائم) بسیار کوچک، رفتار جالب توجهی نشان می‌دهد و همچنین تطابق بسیار حساس دستگاه ژانگ را برای تجزیه و تحلیل برش سطحی نشان می‌دهد. در واقع تغییر نوع مالچ، موجب تغییر مقاومت برشی محاسبه‌شده بر طبق قانون موهر-کلمب و در نتیجه تغییر  $C_a$  و  $\Phi$  (پیزارسیک، 2005) می‌شود. به عبارت دیگر تنش برشی ( $\tau$ ) در هر نوع از مالچ‌ها به تنش نرمال اعمال شده ( $\sigma_n$ ) مرتبط است. در صورتی که میزان دگرچسبی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی در هر نوع مالچ ثابت بوده‌است. اثر متقابل نوع مالچ و ضخامت بر نیروی دگرچسبی بین مالچ و پوشش سمپاده‌ای برای مالچ‌های نیشکری (شماره 1 و 2) معنی‌دار نشد. لذا در صورتی که کاربرد مالچ‌های نیشکری مد نظر باشد، بین ویناس و فیلتریک تفاوت چندانی قابل مشاهده نمی‌باشد. در حالی که با افزایش تعداد دفعات مالچ‌پاشی دگرچسبی برای مالچ‌های 4، 5، 6 و 8 افزایش و برای تیمارهای 3 و 7 کاهش معنی‌داری داشته‌است.

طبق گفته‌ی رفاهی (1391) میزان فرسایش بادی با مقدار زبری سطح رابطه‌ی عکس دارد. البته باید در نظر داشت که این موضوع در مورد یک سطح کاملاً صاف صدق نمی‌کند زیرا یک سطح کاملاً صاف با ذرات خیلی ریز، قادر است سرعت‌های خیلی بالا را تحمل نماید و در نتیجه ذرات منتقل نمی‌شوند. از طرفی باید در نظر داشت در سطوح زیر چون موانع بوجود آمده معمولاً غیر قابل نفوذ است، بنابراین تمامی جریان باد را به طرف بالا منحرف می‌سازد و ممکن است منجر به فرسایش خاک گردد (رفاهی، 1391). رزین تثبیت خاک (شماره 6) دارای بیش‌ترین میزان دگرچسبی در ضخامت بیش‌تر لایه مالچ بوده‌است. به همین دلیل چون در این مالچ پلیمری زبری سطح بیش‌تر است سرعت باد در نزدیکی سطح زمین کاهش یافته و در اثر آن میزان هدررفت خاک نیز کاهش می‌یابد. از طرفی زبری سطح خاک (SSR) بیانگر حساسیت خاک به فرسایش بادی و آبی است و نقش مهمی در توسعه و نگهداری موجودات زنده‌ی خاک ایفا می‌کند (مورنو و همکاران، 2010). طبق بررسی منابع انجام گرفته در این مطالعه مقایسه‌ی دقیق نتایج حاصله از این قسمت میسر نشد. لازم به توضیح است ویژگی‌های کاغذ سمپاده، به ویژه موقعی که میزان چسبندگی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی مورد بررسی قرار می‌گیرند مهم است. انتخاب یک کاغذ سمپاده متناسب با ویژگی خاک باید

## فهرست منابع:

1. اسماعیلی دستجردی پور، ع؛ م. ه. فرپور؛ و م. سرچشمه پور. 1390. مقایسه مقاومت پوسته‌های حاصل از تلقیح سیانوباکتری‌ها و پلیمر در یک خاک شنی، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست.
2. امامی، ح؛ م. شرفاء؛ و م.ر. نیشابوری. 1388. بررسی همبستگی بین مقاومت فروری و پارامترهای فیزیکی کیفیت خاک. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران.
3. باباخانی، س؛ و ح. کریم زاده. 1392. کاربرد سرباره ی فولاد سازی در تثبیت خاک‌های فرسایش‌پذیر. (بررسی موردی، منطقه ی هرنند). مجله ی مدیریت بیابان.
4. جعفری، م. 1393. گزارش عملکرد رزین تثبیت خاک. دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی.
5. جمشیدصفا، م. 1392. بررسی امکان استفاده از فیلترکیک به عنوان مالچ سازگار با محیط زیست برای تثبیت شن‌های روان اهواز. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
6. جمیلی، ت. 1392. تهیه‌ی مالچ سازگار با محیط زیست از ضایعات نیشکر برای تثبیت شن‌های روان اهواز. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
7. خلیلی مقدم، ب؛ م. افیونی؛ ا. جلالیان؛ ک. عباسپور، و ا. ا. دهقانی. 1390. تخمین مقاومت برشی خاک با استفاده از توابع انتقالی و توابع پیش بینی فضایی خاک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 25(1): 187-195.
8. ربیعی، ا؛ م. گیلانی؛ و ه. جمشیدی. 1390. تهیه پلی الکترولیت آنیونی بر پایه آکریل آمید به عنوان تثبیت کننده ی خاک. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال بیست و چهارم، شماره 4، صفحه 291-300.
9. رضایی، س. ع. 1388. مقایسه تأثیر پلیمر پلی لاتیس و مالچ نفتی در جوانه زنی بذر و استقرار گیاه به منظور تثبیت بیولوژیک تپه‌های شنی. فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. 16(1): 124-136.
10. رفاهی، ح. ق. 1391. فرسایش بادی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ ششم.
11. زارع ارنازی، م؛ و ف. حوضیرئی. 1392. بررسی تأثیر مالچ رسی -آهکی بر تثبیت ماسه ی روان. نشریه ی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد 27. شماره ی 2. 373-380.
12. صفایی قهنویه، ا؛ ف. روحانی شهرکی؛ ح. کریم زاده؛ و م. ترکش اصفهانی. 1391. بررسی اثر مالچ سرباره در به دام اندازی ذرات فرسایش یافته بادی در دستگاه سنجش فرسایش بادی. اولین همایش ملی بیابان.
13. مجدی، ه؛ م. کریمیان اقبال؛ ح. م. کریم زاده؛ و ا. جلالیان. 1385. تأثیر انواع مالچ رسی بر میزان مواد فرسایش یافته بادی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 10(3الف): 137-148.
14. موحدان، م؛ ن. عباسی؛ و م. کرامتی طرقی. 1392. بررسی آزمایشگاهی اثر پلی وینیل استات بر فرسایش بادی خاک‌های مختلف در برابر ماسه، مجله ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد بیستم. شماره ی اول، 75-55.
15. نادری، م. ب؛ م. ح. بازیار؛ و م. ع. روشن ضمیر. 1390. بررسی اثرات الیاف و چسب‌های پلیمری روی خواص مکانیکی خاک. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه سمنان.
16. Charman, P.E.V., and B.W. Murphy. 2000. Soils: Their properties and management. 2<sup>nd</sup> edn, Land and Water Conservation, New South Wales, Oxford, 206-212.
17. Dexter, A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. Soil Till. Res., 11, 199-238.
18. Dong, Z. X. Liu., and X. Wang. 2002. Aerodynamic roughness of gravel surfaces. Geomorphology. 43: 17-31.

19. Dong, Z., L. Wang., and S. Zhao. 2008. A potential compound for sand fixation synthesized from the effluent of pulp and paper mills, *J. Arid Environ.* 72: 7. 1388-1393.
20. Edvardsson, K. 2010. Evaluation of dust suppressants for gravel roads: Methods development and efficiency studies. Stockholm, Sweden. Royal Institute of Technology.
21. Etyemezian, V., J.A. Gillies., M. Shinoda., G. Nikolich., J. King., and A.R. Bardis. 2014. Accounting for surface roughness on measurements conducted with PI-SWERL: Evaluation of a subjective visual approach and a photogrammetric technique. *Aeolian Research* 13. 35–50
22. Fuentes, JP., M. Flury., and DF. Bezdicek. 2004. Hydraulic properties in a silt loam soil under natural prairie,
23. Garcia Moreno, R., M. C. Diaz., A lvarez., A. M. Tarquis., A. Paz Gonzalez., and A. Saa Requejo. 2010. Shadow analysis of soil surface roughness compared to the chain set method and direct measurement of micro-relief. *Bio geosciences*, 7, 2477–2487.
24. Genis, A., L. Vulfson., and J. Ben-Asher. 2012. Combating wind erosion of sandy soils and crop damage in the coastal deserts: Wind tunnel experiments. *J. Aeolian Research*.
25. Goodrich, B.A., R.D. Koski., and W. R. Jacobi. 2009. Monitoring surface water chemistry near magnesium chloride dust suppressant treated roads in Colorado. *Journal of Environmental Quality*, 38, 2373-2381.
26. Grau, R.H. 1992. User's guide: Dustproofing unsurfaced areas. U.S. Army Corps of Engineers. FEAP-UG-92/05.
27. Hagen, L. J. 1988. New wind erosion model developments in the USDA. In 1988 Wind Erosion Conference Proceedings, Texas Tech. University, Lubbock, 11–13.
28. Hagen, L.J. 2010. Erosion by wind: Modeling. In: Lal, R. (ed.). *Encyclopedia of Soil Science*. 2nd ed, London: Taylor and Francis publishers.
29. He, J. J., G. Q. Cai., and Z. J. Tang. 2007. Wind tunnel experimental study on the effect of PAM on soil wind erosion control. *Environmental Monitoring and Assessment*, 145:185–193.
30. Herrick, J. E., and T. L. Jones. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1320-1324.
31. Horn, R., and T. Baumgartl. 1999. Dynamic properties of soils. In: *Handbook of Soil Science* (Ed. H. Sumner). CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
32. Horn, R., and T. Baumgartl. 2002. Dynamic properties of soils. In: *Soil Physics Companion* (Ed. A.W. Warrick). CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
33. Horn, R., T. Baumgartl., R. Kayser., and S. Baasch. 1995. Effect of aggregate strength on strength and stress distribution in structured soil. In: *Soil Structure, Its Development and Functions*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
34. Kirkegaard, J.A. 1990. The effects of compaction on the growth of Pigeon pea on clay soils. Ph.D. thesis, University of Queensland, 114 p.
35. Nickling, W.G. 1984. The stabilizing role of bonding agents on the entrainment of sediment by wind *Sedimentology* 31. 111-7.
36. Pisarczyk, S. 2005. *Soil Mechanics* (in Polish). Technology Univ. Press, Warsaw, Poland.
37. Pradhan, G., and D. John. 2009. Erosion wear behaviour of bio-waste reinforced polymer composites. B.Sc. Thesis, National Institute of Technology Rourkela, India, 53p.
38. Talor, H.M., G.M. Roberson, and J.J. Parker. 1966. Soil strength root penetration relations for medium and coarse-textured soil material. *Soil SCI.*, 102: 18-22.
39. Wojciga, A., K. Bolte., R. Horn., W. Stepniewski., and E. Bajuk. 2009. Surface shear resistance of soils on the micro to meso scale. *Int. Agrophysics*, 23, 391-398.
40. Yamanaka, T., m. Inoue., and I. Kaihotsu. 2004. Effect of gravel mulch on water vapor transfer above and below the soil surface. *Agr. Water Manage.* 67, 145e155.

41. Yanli, X. 2003. Gravel- sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. *Catena*. 52(2): 105-107.
42. Zhang, C., X. Zou., J. Gong., L. Liu., and Y. Liu. 2004. Aerodynamic roughness of cultivated soil and its influences on soil erosion by wind in a wind tunnel. *Soil Till. Res.* 7: 53-59.